

## ИЗОТОПНЫЕ СООТНОШЕНИЯ СТРОНЦИЯ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫНДЫГ И ОТЛАГАЮЩИХСЯ ИЗ НИХ КАРБОНАТНЫХ СОЛЕЙ

Потапов С.С.<sup>1</sup>, Киселёва Д.В.<sup>2</sup>, Червяковская М.В.<sup>2</sup>, Червяцова О.Я.<sup>3</sup>, Дбар Р.С.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, s\_almazov@74.ru

<sup>2</sup>Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург,

<sup>3</sup>ФГБУ Государственный заповедник «Шульган-Таш», д. Иргизлы, kittaryu@yandex.ru

<sup>4</sup>Институт экологии АНА, г. Сухум, Республика Абхазия

Природный источник минеральных высоко-термальных вод, разгружающихся через глубокие скважины, находится в селе Кындыг Очамчирского (Очамчирского) района недалеко от столицы Абхазии г. Сухум (рис. 1). Температура воды в месте, где она вырывается из недр земли, составляет 110 °С. Из скважин по металлическим и пластиковым трубам и желобам вода стекает в бассейны, охлаждаясь до 40-45 °С и используется для принятия леченых ванн и для отопления теплиц. Об этом объекте мы уже писали [Потапов и др., 2018а, б; Potapov et al., 2019].

Из минерализованных слабощелочных хлоридно-кальциево-натриевых вод месторождения Кындыг в трубах и на поверхности земли, куда изливается вода, образуются мощные отложения минеральных солей карбонатного состава.

В составе солевых отложений установлены минералы класса карбонатов: арагонит и кальцит (рис. 2). В некоторых образцах встречается механическая примесь кварца [Потапов и др., 2018а, б; Potapov et al., 2019].

В развитии исследований проведено определение содержания стронция и изотопных соотношений



Рис. 1. Место расположения месторождения термальных вод Кындыг на карте Абхазии

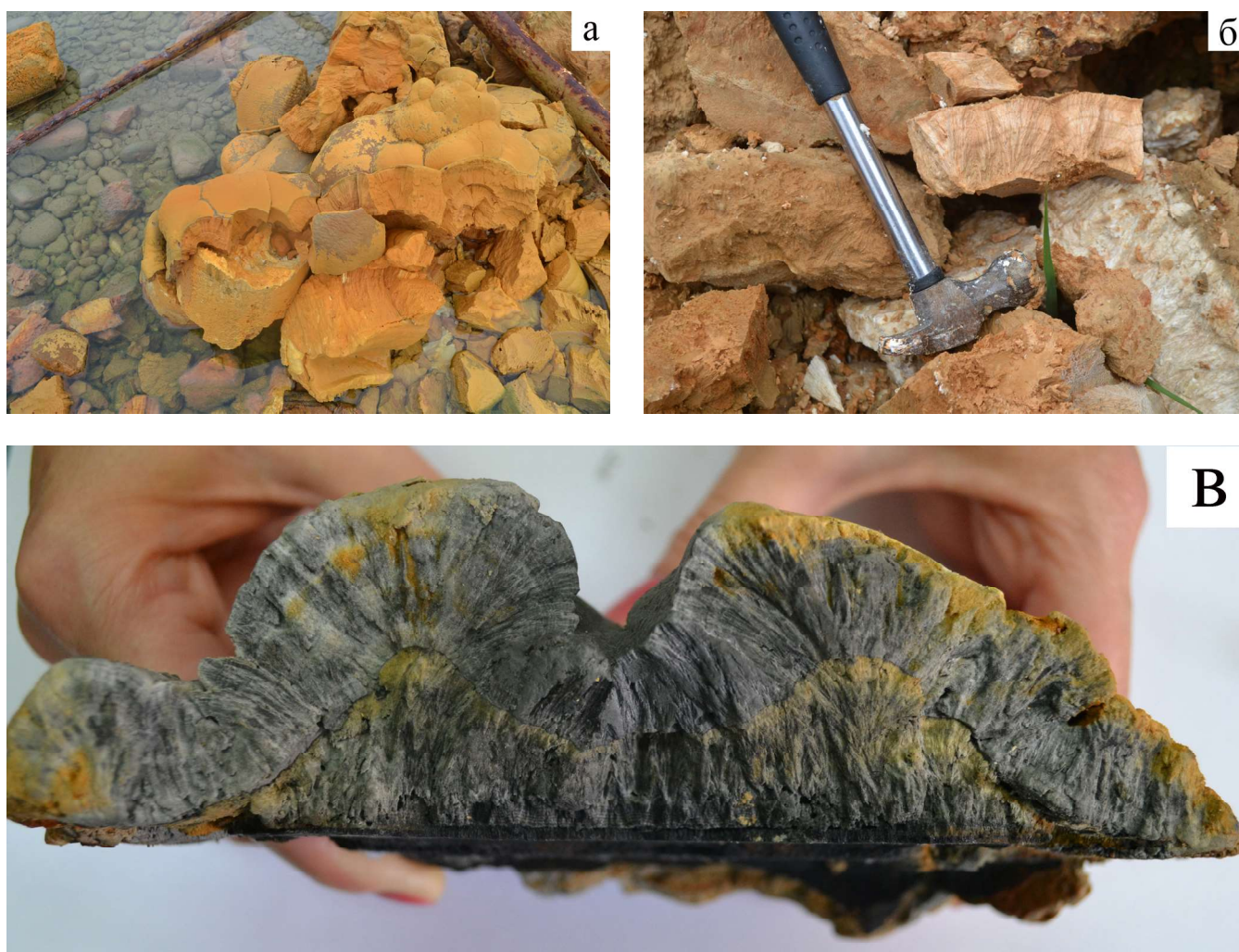


Рис. 2. Нативные образцы минеральных солей на объекте Кындыг-1 (а), Кындыг-2 (б), Кындыг-3 (в) на момент отбора на месторождении

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в термальных водах и в отлагающихся из них минеральных солях.

Пробоподготовка и анализ микроэлементного и изотопного состава стронция проведены в блоке чистых помещений с классами чистоты 6 и 7 ИСО (Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург). На всех стадиях анализа использовалась ультрачистая деионизованная вода MilliQ ( $18.2 \text{ МОм} \cdot \text{см}^{-1}$ ). Все используемые кислоты дополнительно очищались методом дистилляции при температуре, не доходящей до точки кипения (sub-boiling distillation).

Перед анализом образцы солей были истёрты вручную в яшмовой ступке. Образцы солей массой порядка 100 мг растворяли в  $14\text{M HNO}_3$  в тefлоновых бюксах. К полученным после разложения растворам добавляли 15 мл 0.5 %  $\text{HNO}_3$ , количественно переносили в полипропиленовые контейнеры и добавляли 10 мкг/л индия (элемента внутреннего стандарта), а затем доводили до метки ультрачистой водой. Контрольные (холостые) пробы приготовлены описанным

выше способом, но без добавления материала пробы. К образцам воды добавляли индий.

Измерения микроэлементного состава проведены на квадрупольном ИСП-масс-спектрометре NexION 300S (PerkinElmer). Все измерения проводились в режиме количественного анализа с построением градуировочных кривых (мультиэлементные стандартные растворы PerkinElmer Instruments).

Для изотопного анализа стронций из растворенных проб и воды был хроматографически выделен с использованием смолы Triskem Sr-Spec (Sr) согласно [Muynck et al., 2009; Стрелецкая и др., 2016]. Измерения изотопного состава стронция проводили на мультиколлекторном магнито-секторном масс-спектрометре с двойной фокусировкой Neptune Plus (Thermo Fischer). Для стронция использовали метод бреккетинга (SSB) по схеме «стандарт-образец-образец-стандарт» с использованием NIST SRM 987. Для оценки правильности и долговременной воспроизводимости измерительной процедуры использовали стандарт изотопного состава стронция NIST SRM 987:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710266 \pm 8$  (1SD, N=23).



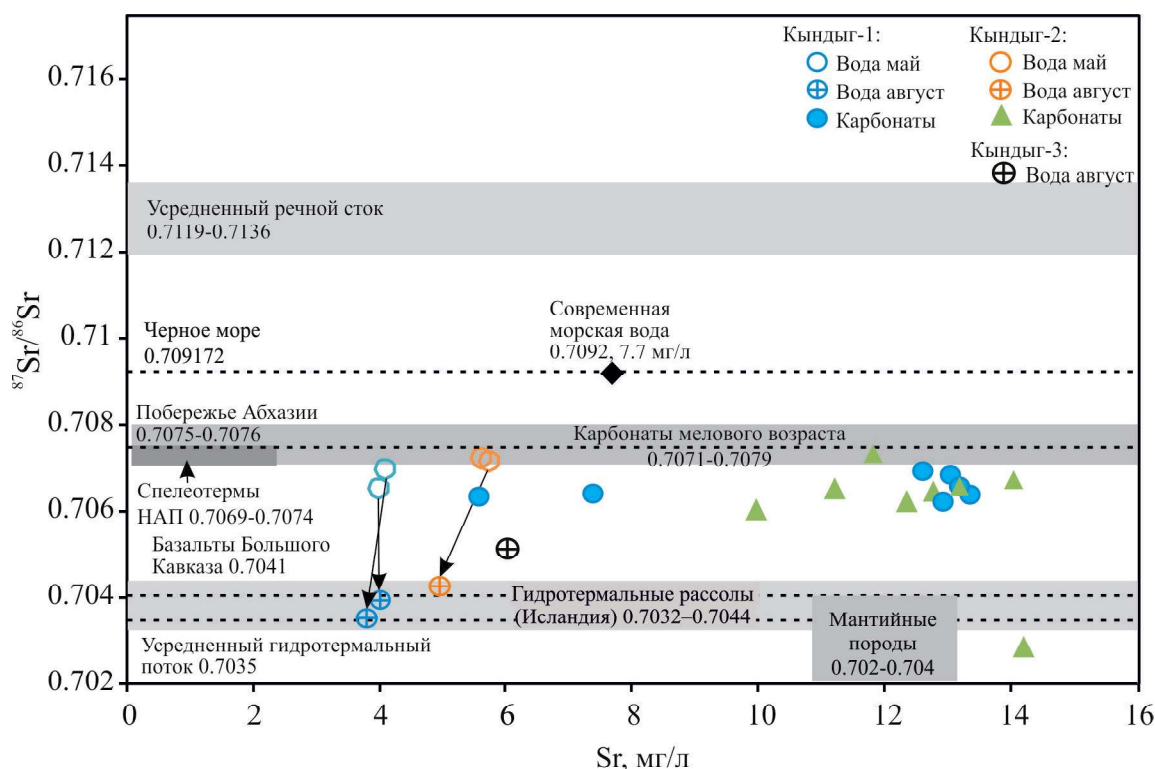


Рис. 3. Диаграмма  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  – Sr для исследованных образцов термальных вод и отлагающихся из них карбонатов

Содержания стронция в воде составляют от 3.8 до 6.2 мг/л. Изотопные отношения стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в термальных водах варьируют в диапазоне 0.7065–0.7072. Содержания стронция в карбонатах довольно высокие и варьируют от 2600 до 6400 г/т, за исключением нескольких образцов. Изотопные отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в них изменяются в диапазоне 0.70283 – 0.70737. Из рис. 3 видно, что отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в термальных водах Кындыга значительно отличаются от современной морской воды и воды Чёрного моря. Они располагаются довольно близко к изотопным отношениям стронция в осадках побережья Чёрного моря (0.7075–0.7076), глобальному значению для меловых карбонатов (0.7071–0.7097) и современных карстогенных карбонатов Новоафонской пещеры (0.7074–0.7069).

Следовательно, состав термальных вод месторождения Кындыг определяется скорее изотопными характеристиками водовмещающих пород – известняков нижнемелового возраста, чем влиянием морской воды. Одна из точек для объекта Кындыг-2 оказалась в области значений, характерных для пород мантийного происхождения, что может свидетельствовать в пользу водообмена с подстилающими вулканическими породами среднеюрского возраста.

Также следует отметить различия (превышающие погрешность определения) в изотопном составе термальной воды из различных мест отбора проб (на

различном удалении от источника) с различными температурами (см. рис. 3). При этом изотопный состав стронция в образцах с одного объекта, отобранных в разное время года, значительно различается (рис. 3): образцы, отобранные в августе, характеризуются более низкими значениями  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.7035–0.7051). Вероятно, это может быть связано с тем, что весной в формировании водного баланса принимают участие метеорные воды, которые могут иметь соотношение изотопов стронция, близкое к породам, через которые они просачиваются, тогда как в межень основным источником может оставаться гидротермальный поток с низкими  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  отношениями.

Изотопный состав отлагающихся солей отличается от термальных вод: для карбонатов характерны более низкие значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Вероятно, имеет место температурное фракционирование.

Авторы благодарны сотруднику комплекса Новоафонской пещеры В.В. Мархолью за организацию поездок на месторождение Кындыг.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 19-55-40005 Абх\_а «Генетические типы карстогенеза прибрежных карбонатных массивов Абхазии». Изучение изотопного состава стронция выполнено в ЦКП «Геоаналитик» в рамках темы № АААА-А18-118053090045-8 государственного задания ИГГ УрО РАН.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Потапов С.С., Киселёва Д.В., Червяцова О.Я., Паршина Н.В., Зайцева М.В., Карпова С.В., Чердниченко Н.В. Месторождение термальных вод Кындыг в Республике Абхазия: изотопно-геохимические особенности и состав отлагающихся из них минеральных солей // XXIV Всероссийская научная молодёжная конференция «Уральская минералогическая школа-2018». К 200-летию со дня рождения академика Н.И. Кокшарова. 15-17 октября 2018. г. Екатеринбург: Альфа-Принт, 2018б. С. 154-161.
2. Потапов С.С., Червяцова О.Я., Паршина Н.В., Васильев С.К. Минеральные соли из термальных вод месторождения Кындыг (Республика Абхазия, Западный Кавказ) // IX Всероссийская молодежная научная конференция «Минералы: строение, свойства, методы исследования». 5-8 февраля 2018 г. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2018а. С. 151-157.
3. Стрелецкая М.В., Зайцева М.В., Киселёва Д.В., Солошенко Н.Г. Оценка возможности применения хроматографической смолы SR для подготовки проб к изотопному масс-спектрометрическому анализу стронция // VIII Всероссийская молодежная научная конференция «Минералы: строение, свойства, методы исследования». 17-20 октября 2016 г. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2016. С. 154-155.
4. Muynck D.D., Huelga-Suarez G., Heghe L.V., Degryse P., Vanhaecke F. Systematic evaluation of a strontium-specific extraction chromatographic resin for obtaining a purified Sr fraction with quantitative recovery from complex and Ca-rich matrices // J. Anal. At. Spectrom. 2009. V. 24. P. 1498-1510.
5. Potapov S.S., Chervyatsova O.Ya., Parshina N.V., Vasil'yev S.K. Mineral Salts from the Thermal Waters of the Kyndyg Deposit (the Republic of Abkhazia, the Western Caucasus) // «Minerals: structure, properties, methods of investigation – 9th Geoscience Conference for Young Scientists, Ekaterinburg, Russia, February 5-8, 2018». «Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences». 2019. P. 183–193.